

# 陕西黄龙铺碳酸岩脉型钼矿床成因初探

宋文磊<sup>1,2</sup>, 许成<sup>1</sup>, 王林均<sup>1,2</sup>, 漆亮<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

碳酸岩是地表出露相对较少的幔源岩石之一, 通常呈岩脉、岩株、岩墙、岩锥等出露, 主要产于裂谷环境。因易与沉积的碳酸盐岩及其变质的大理岩相混, 经常被人们忽视。已有工作主要集中在它们与共生碱性岩的成岩模式上 (Mitchell等, 2005; Xu等, 2007; Chakhmouradian等, 2008) 而对碳酸岩成矿作用的探讨却相对较少, 相关的成果重点在与之共生的稀土矿床的成因联系上 (Zaitsev等, 2002; Castor等, 2008), 我国的研究也主要集中在攀西地区和白云鄂博 REE矿床 (范宏瑞等, 2001; 倪培等, 2003; Xu等, 2008; Yang等, 2009)。陕西黄龙铺钼矿床是东秦岭地区的大型钼矿床之一, 与碳酸岩脉有关, 其辉钼矿  $ReO$  年龄为 220 Ma (黄典豪等, 1994), 是东秦岭目前已报道的最老的钼矿床, 也是目前已知与碳酸岩共生的矿种中最为罕见的一种矿床, 因而, 对其矿床成因的研究, 不仅有利于增加对碳酸岩流体及其成矿作用新的认识, 而且对揭示整个东秦岭钼矿的成因及深部动力学机制具有重要的价值。

黄龙铺钼矿田位于华北古板块南缘的华熊地块。矿田发育深达上地幔的断裂构造, 断裂带走向为  $300^{\circ} \sim 330^{\circ}$ , 宽达 1 ~ 3 km (黄典豪等, 1985)。矿田长约 6 km, 受北西向断裂带控制, 包括了垣头、大石沟、石家湾、桃园和二道河等矿床或矿点。其中, 大石沟、石家湾和桃园规模较大, 已可独立构成矿床。本矿床的工业钼 (铅) 矿体主要由含钼 (铅) 石英-方解石碳酸岩脉组成。成矿元素以钼为主, 次为稀土、铅和钨。围岩蚀变有云母化、绿帘石化、黄铁矿化和碳酸盐化, 其中尤以碳酸盐化为特征, 蚀变仅局限于矿脉的两侧, 呈现不同于斑岩型钼矿床面性蚀变的线性蚀变特征。主要矿石矿物有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿和辉钼矿。脉石矿物为方解石、石英、微斜长石和天青石。其中尚含微量金红石、铅铀钛铁矿、铌钛钽矿、独居石、氟碳铈镧矿和钽易解石等。

黄龙铺钼矿田含矿碳酸岩地球化学特征研究表明, 方解石是黄龙铺碳酸岩的唯一碳酸盐矿物, 具有高的  $SO$  (0.6% ~ 1.3%) 和低的  $MgO$  (0.2% ~ 0.5%) 和  $FeO$  (0.3% ~ 0.4%) 含量,  $MnO$  (2.0% ~ 2.5%) 的含量也相当高。方解石的 C 和 O 同位素显示其具有很均一的  $\delta^{18}O_{SMOW}$  和  $\delta^{13}C_{PDB}$  组成, 为原始地幔稳定同位素比值, 说明成矿流体主要为岩浆起源, 并未受到地表和大气水的加入以及与围岩的相互作用 (许成等, 2009)。碱性长石  $SO$  (0 ~ 0.05%) 和  $BaO$  (0 ~ 0.6%) 含量低, 这与大多数的碳酸岩中的原生长石含量 (分别为 0.5% 和 1.4%, Chakhmouradian等, 2008) 不同。这种差别说明碱性长石并不是在碳酸岩侵位时形成的, 为后期产物。硫化物的  $Cu$ ,  $Co$ ,  $Ni$ ,  $As$ ,  $Se$ ,  $Sb$  和  $Ag$  含量低, 大多数低于检测限。特别的是, 辉钼矿和方铅矿相对非常富集  $Re$  (含量分别为 0.07% ~ 0.42% 和 0.15% ~ 0.24%), 而黄铁矿和闪锌矿中的  $Re$  含量低于检测限。同时, 本区碳酸岩具有较高的 HREE 含量, 高于目前报道的世界上已发现的所有碳酸岩, 其 REE 配分模式为相对平坦型, 明显区别于世界上已知碳酸岩的 REE 特征 (LREE 强富集)。高的  $Re$  和 HREE 含量均表明了黄龙铺钼矿田成岩成矿物质源区的特殊性。

碳酸岩被认为在火成岩中是潜在含稀土最多的岩石, 因而也是稀土矿产勘探的重要标志 (Marjanović, 1989)。许成等 (2008) 认为, 稀土元素由于在碳酸盐矿物和熔体中很低的分配系数, 会强烈地富集到碳酸岩释放出的富挥发分流体中, 这可能是碳酸岩型稀土矿化的主要机制。已有的实验研究亦表明, 碳酸岩岩浆富含挥发分 (Palmer等, 1996; Buhn等, 1999, 2002; Williams-Jones等, 2002; Rankin, 2003), Buhn 和 Rankin (1999) 分析了在封闭条件下捕获的碳酸岩流体的地球化学组成, 发现流体含有总量达到 3% 的稀土和  $Sr$

0.85% Ba, 0.65% Pb, 0.38% Cu, 20% H<sub>2</sub>O, 20% CO<sub>2</sub>, 6.7% Cl 和 1.2% F。他们认为 H<sub>2</sub>O, Cl, F, REE, Sr, Ba, Cu 和 Pb 分配进入到碳酸岩岩浆的结晶分异出来的流体中。实验也表明, 这富含挥发分 (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, Cl, F) 的流体在高温下具有较强的搬运大离子亲石元素和高场强元素的能力 (Wood, 1990; Brennan 等, 1995)。Rempe 等 (2006, 2008, 2009) 的实验研究表明, Mo 在水蒸气中的溶解度远比先前预测的要高很多,

H<sub>2</sub>O 及 H<sub>2</sub>O-HC 等体系均能携带大量的 Mo 迁移成矿。Xu 等 (2007) 通过对黄龙铺碳酸岩的研究, 提出了该地区方解石的堆晶过程。因而, Mo 也可能和 REE 与 Pb 一样优先进入到碳酸岩岩浆演化过程中分异出来的富挥发分的流体中, 携带成矿元素的流体极易沿断裂和先成岩体的构造薄弱部位迅速上升至地表, 流体环境的急剧变化造成碳酸盐及金属元素的大量沉淀, 最终形成黄龙铺碳酸岩脉型大型钼矿床。